

## I-202 - AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE UMA BOMBA MANUAL

**Eduardo Cohim**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Sanitarista; Especialização em Engenharia de Irrigação; Mestre em Gerenciamento do Processo Produtivo, Ênfase em Tecnologias Limpas; Doutor em Energia e Meio Ambiente. Professor Adjunto do Curso de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: [edcohim@gmail.com](mailto:edcohim@gmail.com)

### RESUMO

O aproveitamento da água de chuva no semiárido tem contribuído com a melhora da condição de vida da população, evidenciado pela redução da prevalência das doenças diarreicas. Essa melhora pode ser ainda maior se forem tomados cuidados com a retirada da água da cisterna, o que pode ser feito através do uso de bomba. Entretanto, encontra-se um baixo percentual de utilização desses dispositivos. Este artigo analisou o desempenho hidráulico de uma bomba manual e o esforço necessário para sua operação e concluiu que a bomba é capaz de retirar água da cisterna a uma vazão maior que 10,0 L/minuto com um esforço que poderia ser classificado como leve a moderado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bomba manual, desempenho hidráulico, esforço de operação, custo energético.

### INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro conta com uma produção específica média de água de 0,3 L/s.km<sup>2</sup>, suficiente para manutenção de uma atividade econômica regular, não fosse a má distribuição das chuvas.

Segundo Malvezzi (2007), citado por Neves et al. (2010), o conceito de convivência com o semiárido pressupõe a possibilidade de desenvolver culturas adequadas ao meio ambiente e uma vida produtiva do ponto de vista econômico, cuja chave passa pela produção e estocagem dos bens em tempos chuvosos para se viver adequadamente em tempos sem chuva, sendo a água o principal bem a ser estocado.

Com esse objetivo e visando garantir o abastecimento regular de água de qualidade para cinco milhões de pessoas em áreas rurais do semiárido brasileiro, foi criado o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido – P1MC, com início em 2001 (Neves ET AL, 2010). Desde então, o P1MC construiu mais de 300 mil cisternas, beneficiando mais de 1,5 milhões de pessoas (ASA, 2012).

É de se destacar que a água de chuva coletada dos telhados é considerada, juntamente com água de sistemas públicos de abastecimento e de poços e nascentes protegidos, fonte melhorada de água (WWAP, 2009). O Plano Nacional de Recursos Hídricos aponta a água de chuva como um recurso a ser usado de forma plena em substituição ou suplementação de fontes tradicionais (Gnadlinger, 2007).

A adequabilidade dessa fonte para abastecimento humano pode ser comprovada através de estudos epidemiológicos como o que foi realizado por Heyworth et al. (2006), em que se conclui que o consumo de água de chuva armazenada em cisternas não aumenta o risco de gastroenterite com relação ao consumo de água do sistema público em crianças de 4 a 6 anos, numa evidência do baixo risco representado pelo uso dessa fonte de água.

Na zona rural, principalmente na região semiárida, a água de chuva é, na grande maioria dos casos, a fonte de melhor qualidade, sendo, por isso, destinada aos fins mais exigentes, tais como bebida e preparo de alimentos. Luna (2011), em pesquisa no agreste pernambucano, mostrou que 96% dos usuários de água de chuva usam-na para beber, cozinhar e escovar dentes, enquanto 35% utilizam para banho e apenas 20% destinam essa água para a limpeza da casa.

O mesmo autor afirma que a cisterna é um fator de proteção na ocorrência de episódios diarreicos, uma vez que ter cisterna diminui o risco de ocorrência de episódios diarreicos em 73% em relação a não ter, comprovando, dessa forma o imenso benefício resultante do P1MC.

Contribui para isso o fato de que, em áreas com baixa poluição atmosférica, caso da maioria das cidades e da zona rural, a água da chuva tem excelente qualidade físico-química. Gnadlinger (2007), citando estudos realizados pela Embrapa Semiárido, menciona que 55,3% das cisternas apresentaram qualidade físico-química dentro dos padrões propostos pelo Ministério da Saúde, ressaltando que esse percentual é distorcido pelo abastecimento de outras fontes como, por exemplo, carros pipa. A contaminação microbiológica na atmosfera é ainda mais rara segundo Andrade Neto (2004).

Entretanto, a qualidade da água armazenada não depende apenas da qualidade do ar atmosférico. O contato com a superfície de captação antes de entrar na cisterna é o principal fator de deterioração da qualidade microbiológica da água de chuva armazenada. Quanto a esse aspecto, é praticamente unanimidade que o desvio das primeiras águas constitui uma simples e efetiva barreira sanitária para assegurar a qualidade da água de chuva armazenada em cisternas.

Uma vez armazenada, a qualidade microbiológica da água na cisterna fica vulnerável ao manuseio inadequado, com o contato da mão e de utensílios contaminados, notadamente, aqueles utilizados para a retirada de água, como, por exemplo, baldes, latas e cordas (Andrade Neto, 2004).

Nesse sentido, a retirada da água através de tubulação com o uso de bombas constitui importante barreira sanitária, sendo recomendada por oficina realizada pela ABCMAC (Andrade Neto, 2004; Gnadlinger, 2007). Tal recomendação é sustentada, também, na quarta edição do guia para a qualidade da água potável (Guidelines for drinking-water quality) da Organização Mundial da Saúde, onde consta que, entre outras medidas para redução do risco sanitário da água de chuva, deve-se cuidar para a higiene da retirada da água da cisterna, sugerindo que isso seja feito através de bomba (WHO, 2012).

Conclui-se, pois que o uso desses equipamentos é de fundamental importância para a ampliação dos benefícios à saúde decorrentes do aproveitamento da água de chuva.

Entretanto, diversos pesquisadores têm encontrado baixos percentuais de uso das bombas manuais entregues com as cisternas, com preferência para a retirada com o uso de baldes. Luna (2011), por exemplo, no estudo já citado, detectou que apenas 18% dos moradores utilizavam a bomba manual para a retirada de água, contra 81% que o faziam com baldes. Entretanto, a quebra ou defeito da bomba foi a justificativa para apenas 46% daqueles que utilizavam o balde.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho hidráulico de uma bomba manual utilizada em sistemas de aproveitamento de água de chuva no programa P1MC.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A bomba foi instalada em uma cisterna de 16 mil litros do modelo padrão utilizado pelo P1MC, construída no campus da Universidade Estadual de Feira de Santana, cujas dimensões são: diâmetro 3,46 m, altura total 2,40 m e altura útil: 2,00 m.

Os testes foram realizados em cinco profundidades (alturas da lâmina da água) na cisterna, conforme mostrado na Tabela 01.

**Tabela 1 - Profundidade de água na cisterna**

Profundidade da água na cisterna (m)				
P1	P2	P3	P4	P5
0,28	0,50	0,90	1,31	1,91

Para cada altura, foram realizados dez ensaios com operadores diferentes, recrutados entre os estudantes e funcionários do curso de engenharia civil. As características dos operadores são mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Características dos operadores**

	Idade	Peso	Altura
Mínimo	19	52,0	1,6
Médio	28	73,0	1,7
Máximo	50	90,0	1,9

A cada operador era sugerido que mantivesse uma cadência de 60 batidas por minuto e um deslocamento do êmbolo de 30 cm, indicado por uma marca de tinta.

Os resultados foram comparados à especificação para bombas manuais proposto em Whitehead (2001) e adaptado para as condições avaliadas:

- Vazão  $\geq 10,0$  L/minuto a uma altura de 2,5 m
- Capacidade de retirar água com profundidade inferior a 0,30 m.

Para cada ensaio foi anotado o tempo necessário para encher um recipiente de 10,0 L, o número de batidas e a frequência cardíaca do operador antes e depois do teste, utilizando-se um frequencímetro (modelo FT2 da marca Polar) preso ao tórax com cinta elástica.

## RESULTADOS

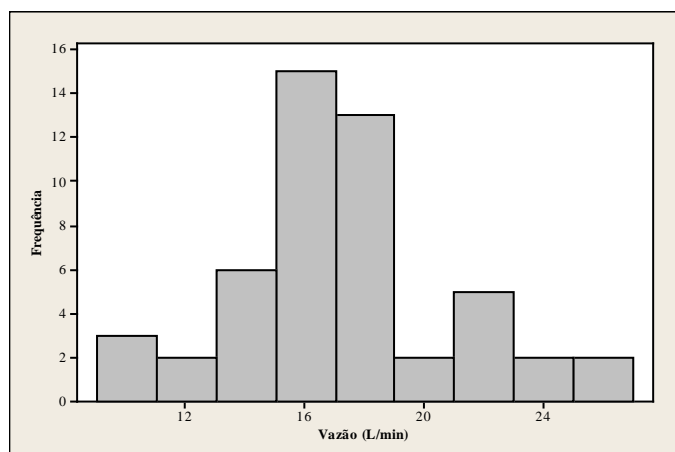
A Tabela 03, com o sumário dos resultados, traz os valores médios dos parâmetros avaliados. Observa-se nos dados mostrados que, mesmo para a menor profundidade, correspondendo ao maior desnível geométrico a vazão bombeada foi de 14,0 L/minuto, superior à meta estabelecida de 10,0 L/minuto, e a frequência cardíaca teve uma elevação máxima de 17,4%. Em todos os testes realizados, a vazão obtida ficou acima de 10,0 L/minuto, conforme pode se observar no gráfico da Figura 1.

**Tabela 3 - Sumário de resultados**

Altura de água (m)	Vazão		Cadência		Freq. Cardíaca		Potência		Energia* requerida (Wh)
	Média	Desv Pad	Média	Desv Pad	Média	Desv Pad	Média	Desv Pad	
1,71	19,12	3,07	41,65	9,01	13,3%	8,6%	2,6	0,4	0,2
1,31	16,85	3,06	40,15	8,96	9,7%	10,9%	5,5	1,0	0,4
0,90	17,26	3,02	44,15	10,41	9,6%	17,4%	9,0	1,6	0,7
0,51	18,46	3,78	44,86	9,10	7,9%	7,3%	13,0	2,7	0,9
0,28	14,09	3,26	36,94	7,80	9,8%	7,3%	11,5	2,7	1,1

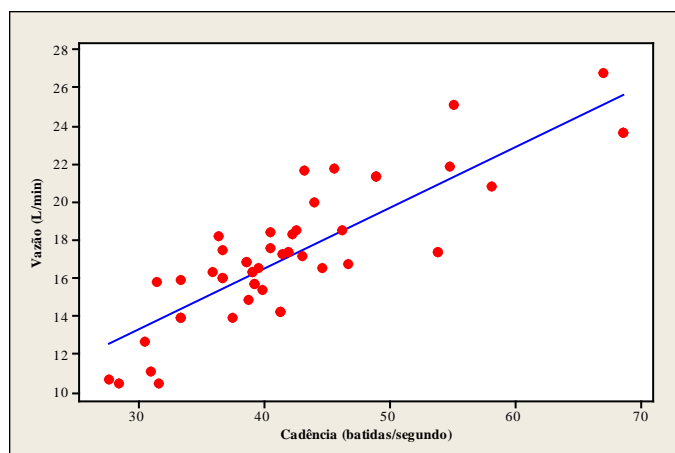
\* Para atendimento da demanda de uma família de quatro pessoas

O comportamento da vazão não apresentou uma correlação com a profundidade da água na cisterna. Na análise de regressão, o valor para  $R^2$  ajustado foi de apenas 8,9%, confirmando a fraca correlação entre esses parâmetros. Entretanto, constata-se a eficácia da bomba mesmo para a menor profundidade testada (0,28m).



**Figura 1 - Histograma de vazões**

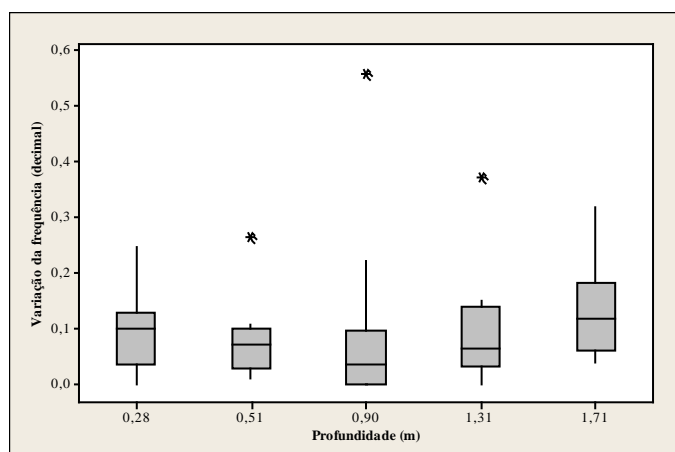
Quando se analisou o comportamento da vazão em função da cadência (número de ciclos) ficou evidente uma forte correlação, conforme se observa no gráfico da Figura 2. A análise de regressão mostrou um valor para  $R^2$  ajustado igual a 71,1%.



**Figura 2 - Vazão versus cadência**

Com as vazões obtidas, o tempo máximo despendido para o bombeamento de água para atender uma quota diária para uma pessoa igual a 20 L seria inferior a dois minutos. Ainda que a tarefa de retirar a água da cisterna fosse atribuída a uma única pessoa, o atendimento às necessidades de uma família de quatro pessoas consumiria menos de 10 minutos, o que pode se considerar adequado.

A operação da bomba, aparentemente, não representou um esforço sobrenormal conforme se pode inferir a partir da análise da elevação da frequência cardíaca antes e depois do teste, cujos resultados são mostrados no gráfico da Figura 3. Ali, observa-se que a elevação da frequência cardíaca em 75% dos ensaios foi inferior a 14%.



**Figura 3 - Aumento da frequência cardíaca para as diversas profundidades**

O American College of Sports Medicine (1998) propõe a classificação para a intensidade de treinamentos físicos mostrado na Tabela 4, relacionando-a à frequência cardíaca máxima, FCmax, cuja expressão, conforme FOX III (1971), é mostrada na Equação 1.

$$FC_{max} = 220 - idade$$

**Equação 1**

**Tabela 4 - Zonas de treinamento**

Intensidade	% FCmax
Muito leve	< 35%
Leve	35% - 54%
Moderado	55% - 69%
Difícil	70% - 89%
Muito difícil	≥ 90%
Máximo	100%

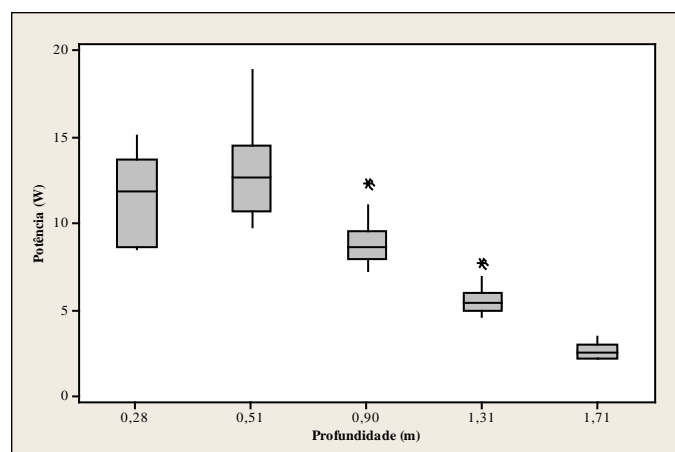
O esforço despendido em 75% dos testes resultou em frequências cardíacas abaixo 0,54 de FCmax, o que configura um esforço muito leve ou leve e, nos 25% restantes, não ultrapassou 0,69 de FCmax, limite para a classificação como de intensidade moderada. Conclui-se, pois, que a despeito de possíveis restrições ergonômicas, o esforço para a operação da bomba é aceitável, ao menos nas faixas de idade testadas.

O gráfico da Figura 4 mostra a potência necessária para operar a bomba sob as diversas condições testadas. Para o cálculo da potência admitiu-se um rendimento do sistema igual a 35%. A expressão a seguir foi utilizada:

$$P = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta}$$

**Equação 2**

Onde, V=volume de água elevado, ρ=peso específico da água, g=aceleração da gravidade, H=altura de elevação, η=rendimento da bomba.



**Figura 4 - Potência requerida versus profundidade da água na cisterna**

Na condição mais desfavorável, a potência requerida foi inferior a 25 W. A Tabela 5 mostra a potência que se pode esperar de indivíduos de 20 a 60 anos por períodos de 5 minutos a 3 horas (Fraenkel, 1986). Constata-se que a potência requerida, mesmo na condição mais desfavorável, é compatível com a capacidade humana.

**Tabela 5 - Capacidade de potência de seres humanos**

Idade (anos)	Potência por duração do esforço					
	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	180 min
20	220	210	200	180	160	90
35	210	200	180	160	135	75
60	180	160	150	130	110	60

Conforme mostrado na Tabela 1, a energia consumida para a retirada de água da cisterna variou de 0,2 a 1,0 Wh. Considerando-se a capacidade humana de realizar trabalho em torno de 250 Wh/dia, esses valores representam de 0,08 a 0,4% da capacidade humana diária.

O custo da energia somática, ao contrário do que normalmente se pensa, não é baixo (Fraenkel, 1986). O ser humano é pouco eficiente na transformação da energia ingerida em trabalho muscular, em torno de 10%. Se considerarmos que a energia é obtida da ingestão do feijão, custando atualmente R\$ 6,00 por quilo e com um teor calórico de 3500 kCal por quilo, a energia muscular sairia por R\$ 14,70 por kWh, bem superior ao custo da energia elétrica, cuja tarifa para a zona rural é de R\$ 0,38 por kWh.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A bomba manual testada atendeu, sob todas as condições de teste, a especificação de capacidade de bombeamento de 10,0 L/min, com tempo máximo necessário para o atendimento às necessidades de água de um indivíduo inferior a dois minutos.

Observou-se forte correlação entre a vazão e a cadência, não se verificando o mesmo em relação à profundidade da água na cisterna.

A operação da bomba mostrou-se adequada à capacidade humana em termos de capacidade de potência e o esforço despendido, avaliado pela frequência cardíaca, foi de leve a moderado. Entretanto, o custo energético para operação da bomba manual é maior que o de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American College of Sports Medicine: American College of Sports Medicine Position Stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30:975–991, 1998.
2. Andrade Neto, C. O. Proteção sanitária das cisternas rurais. XI Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Natal. 2004
3. ASA Programa 1 milhão de cisternas: Resultados. [http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD\\_MENU=1558&WORDKEY=Resultados](http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1558&WORDKEY=Resultados). Acesso em 06/06/2012.
4. Fox III, S.M.; Naughton, J.P.; Haskell, W.L. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 1971;3:404-432.
5. Fraenkel, P. L. Water lifting devices. *FAO Irrigation and Drainage paper* 43. Roma, 1986. 318 p.
6. Gnadlinger, J. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no semi-árido brasileiro. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. ABCMAC. Belo Horizonte. 2007
7. Heyworth, J. S. et al (2006) Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. *International Journal of Epidemiology*. Vol 35 pp 1052-1058.
8. Luna, Carlos Feitosa. Avaliação do impacto do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) na saúde: ocorrência de diarreia no Agreste Central de Pernambuco. Tese (Doutorado em Saúde Pública): Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, 207 f. 2011.
9. Neves, R. S.; Medeiros, J. C. de A.; Silveira, S. M. B. e Moraes, C. M. M. Programa Um Milhão de Cisternas: guardando água para semear vida e colher cidadania. *Agriculturas* • v. 7 - n. 3. 2010
10. Whitehead, V. Development and selection of low cost handpumps for domestic rainwater water tanks in E. Africa. University of Warwick. 2001. 63 p.
11. WHO. Guidelines for drinking-water quality. Fourth Edition. Genebra, Suíça. 2012. 541 p.
12. World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. 2009.